



**EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON AGREGADOS DE CAJICÁ,
MADRID Y EL GUAMO PARA OBTENCIÓN DE UNA RESISTENCIA SUPERIOR
A 4000 psi**

**CRISTHIAN HENRY SILVA CASTAÑEDA
HARVEY ALEXIS VALBUENA RUBIANO**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTA D.C.
2019**

**EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON AGREGADOS DE CAJICÁ,
MADRID Y EL GUAMO PARA OBTENCIÓN DE UNA RESISTENCIA SUPERIOR
A 4000 psi**

**CRISTHIAN HENRY SILVA CASTAÑEDA
HARVEY ALEXIS VALBUENA RUBIANO**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director
Francisco Javier Novegil González Anleo P.h. D.**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTA D.C.
2019**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación:

P.h. D. FRANCISCO JAVIER NOVEGIL
Director de Proyecto

Ing.
Asesor de Proyecto

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del jurado

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. GENERALIDADES	12
1.1 ANTECEDENTES	12
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2.1 Descripción del problema	13
1.2.2 Formulación del problema	13
1.3 OBJETIVOS	14
1.3.1 Objetivo general	14
1.3.2 Objetivos específicos	14
1.4 JUSTIFICACION	15
1.5 DELIMITACIÓN	15
1.5.1 Espacio.	15
1.5.2 Tiempo.	15
1.5.3 Contenido	16
1.5.4 Alcance	16
1.6 MARCO DE REFERENCIA	16
1.6.1 Marco teórico	16
1.6.2 Marco conceptual	20
1.6.2.3. Clasificación de los agregados	22
1.6.2.3.1. Por tamaño	22
1.6.2.3.2. Por fragmentación	22

1.6.2.3.3. Por su gravedad específica	23
1.6.2.3.4. Por su forma	23
1.6.2.4. Propiedades mecánicas de los agregados	24
1.7 METODOLOGÍA.	25
1.7.1 Tipo de estudio	25
1.7.2 Fuentes de información	25
1.7.3 Fases metodológicas	26
2. CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS	27
2.1 HUMEDAD NATURAL BASADA EN LA NORMA	27
2.2 DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO Y GRUESO	28
2.3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS GRUESO Y FINO	32
3. ELABORACION DE CILINDROS	36
4. ENSAYOS DE COMPRESION	40
5. ANALISIS DE RESULTADOS	42
6. CONCLUSIONES	44
7. RECOMENDACIONES	45
8. BIBLIOGRAFÍA	46
9. ANEXOS	48

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resistencia a la compresión de rocas de américa utilizadas comúnmente como agregados para concreto	18
Tabla 2. Dosificación de concretos	20
Tabla 3. Valores típicos de resistencia compresión	24
Tabla 4. Ensayos para caracterización de agregados	27
Tabla 5. Resultados ensayo humedad natural agregados finos	28
Tabla 6. Resultados ensayo humedad natural agregados gruesos	28
Tabla 7. Densidades y absorción agregado fino	30
Tabla 8. Densidades y absorción agregado grueso	31
Tabla 9. Clasificación de rocas con gravedad específica y absorción	31
Tabla 10. Características granulométricas agregado del Guamo	33
Tabla 11. Características granulométricas agregado de Madrid	34
Tabla 12. Características granulométricas agregado de Cajicá	35
Tabla 13. Ensayos sobre muestras de concreto	37
Tabla 14 Dosificación para probeta para 4000 psi	38
Tabla 15 Resistencias obtenidas	40

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Forma de las partículas	24
Ilustración 2. Metodología	26
Ilustración 3. Procedimiento de secado del agregado fino.....	30
Ilustración 4. Tipos diferentes de curvas granulométricas	33
Ilustración 5. Curva granulométrica agregado del Guamo	34
Ilustración 6. Curva granulométrica agregado de Madrid	35
Ilustración 7. Curva granulométrica agregado de Cajicá	36
Ilustración 8 Mezcla de materiales con trompo	38
Ilustración 9 Elaboración de cilindros.....	39
Ilustración 10 Proceso anegamiento	39
Ilustración 11 Comparación del comportamiento de los tres agregados.....	41
Ilustración 12 Ejemplo de fallo de cilindro y máxima resistencia lograda.....	41
Ilustración 13 Comparación visual tres materiales.....	42

GLOSARIO

Agregados: Son materiales inertes de forma granular, que combinados con cemento y agua forman una pasta compacta conocida como concreto, con una resistencia suficiente para que no desfavorezca las características de las mezclas, se clasifican principalmente por color, origen, tamaño.

Anegamiento: Técnica de curado por la cual se realiza una inmersión del concreto en agua, controlada constantemente para así evitar daños en el concreto.

Cemento: Es un material aglutinante de origen mineral que se caracteriza por tener gran dureza, con propiedades de adherencia y cohesión, que permiten la unión de fragmentos como grava y áridos.

Concreto: Se obtiene al mezclar cemento Portland con arena y grava que reaccionan al contacto con el agua potable, alcanzando una resistencia a la compresión similar a las piedras más duras de la naturaleza.

Compresión: Es la característica mecánica principal del concreto, se define como la capacidad para soportar carga axial por unidad de área y se expresa en Mpa o kg/cm².

Mixto: Arena mezclada con grava

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON AGREGADOS DE CAJICÁ, MADRID Y EL GUAMO PARA OBTENCIÓN DE UNA RESISTENCIA SUPERIOR A 4000 psi

Resumen

En el presente trabajo de investigación se buscó determinar si se puede llegar a obtener una resistencia en el concreto superior a 4000 psi, utilizando el método empírico de mezclas de concreto de tipo relación de volumen cemento-agregados, sin el empleo de aditivos y enfocándose en el uso de agregados que comúnmente son traídos a Bogotá, en los cuales varia su origen geográfico, con el fin de comprobar si esto tiene alguna relevancia en el comportamiento mecánico a compresión del concreto. Para esto se tuvo en cuenta depósitos que proveen agregados de Cajicá, Madrid y el Guamo y se les hizo su respectiva caracterización de acuerdo a la normativa colombiana.

Palabras clave: Concreto, agregados, cemento, compresión, mezcla

The present research work sought to determine whether a concrete resistance greater than 4000 psi can be obtained, using conventional, cement-aggregated ratio dosage, without the use of additives and focusing on the use of aggregates that are commonly brought to Bogota, in which their geographical origin varies, in order to check whether this has any relevance in the mechanical behaviour of the compression of concrete. For this purpose, deposits were taken into account that provide aggregates of Cajicá, Calera and Guamo and were made their respective characterization according to Colombian regulations.

Keywords: Concrete, aggregates, cement, compression, mixing

INTRODUCCIÓN

En la ingeniería civil siempre se está buscando el mejoramiento de los materiales, en especial del concreto. Este material está conformado por 4 elementos que son el cemento, agua, agregados y aditivos, cada variable de estas le da al material cierta característica importante para que alcance unas propiedades mecánicas aceptables.

En Colombia podemos encontrar concretos que ofrecen hasta los 7000 psi de resistencia que son producidos por las grandes empresas por pedido especial, a un mayor costo y para grandes proyectos de obra civil (Barrera, 2006), pero la construcción de obras convencionales, como casas de uno y dos pisos las pequeñas empresas trabajan un concreto fabricado in situ que ofrece resistencias a compresión entre 3000 psi y 4000 psi y del cual no se tiene certeza si en verdad llegan a cumplir con estos valores. Muchas veces estas mezclas son realizadas dependiendo de la experiencia del ingeniero residente o del maestro de obra, y a las cuales no se les realiza ningún tipo de ensayo por diferentes motivos.

Con los agregados recolectados de distinto origen geográfico, se realizaron probetas con las mismas dosificaciones agua, cemento y agregados, sin aditivos y se evaluaron por medio de ensayos normalizados, verificando que en efecto llegaron a la resistencia a compresión propuesta de 4000 psi y si esto es así, cuál es el agregado que muestra un mejor comportamiento claramente diferenciable a los demás o si por el contrario todos estuvieron bajo el mismo margen.

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Desde la antigua Roma se han venido utilizando diferentes materias primas para darle las propiedades del concreto, en la construcción del coliseo romano se utilizó agregado quebrado de ladrillo con ceniza volcánica. Jon Smeaton en el siglo XVIII fue el primero en utilizar rocas macizas combinadas con cal, escoria y arena, de alto horno, de allí surge todo el desarrollo para el concreto moderno. (Arias, 2018)

Luego gracias a los avances en la mecánica de suelos, y el estudio de las rocas se logra obtener una clasificación de ellas dependiendo de su origen y los minerales que las conforman y se empiezan a utilizar como agregados del concreto dando así unos resultados excelentes en cuanto a su comportamiento. (Vallejo, 2002)

En Colombia se han realizado diferentes estudios en cuanto a la producción y obtención de agregados, en el año 2012 se realizó una caracterización de agregados pétreos en la ciudad de Villavicencio para ser utilizados en pavimentos flexibles (Ruge, 2012), así mismo para la ciudad de Bogotá se realizó la caracterización para materiales granulares para la construcción de vías. Otros estudios relevantes han sido los de las canteras del municipio de Girardot para la construcción de base y sub-base granular; caracterización mineralógica y petrográfica de agregados el río Coello en el sector de Chicoral para la producción de mezcla asfáltica (Amaya, 2012); estudio de la influencia de diferentes agregados pétreos extraídos en la sabana de Bogotá en el comportamiento de mezclas asfálticas en caliente (Estrada, 2015) y en 2014 se realiza un estudio de comparación de agregados dependiendo de su origen, tomando material de peña proveniente de Mosquera y material del río Guayuriba ubicado en Villavicencio. (Ferreira, 2014)

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema

En una mezcla de concreto es importante contar con una buena calidad de todos los materiales que la conforman, ya que los agregados son el porcentaje más alto de material utilizado en un concreto afectando las propiedades mecánicas de manera directa. La selección de los agregados que son utilizados en la mezclas de concreto pueden considerarse como una de las variables más importante para obtener un material de buenas prestaciones y que las obras sean funcionales teniendo un grado de confiabilidad aceptable (Rivera, 2015). Para esto existen una serie de recomendaciones y parámetros que se deben cumplir para su selección. Muchas veces el mixto que se saca de la explotación en las canteras a los alrededores de Bogotá es sacado, empacado y llevado a distribuirse sin tener un control eficiente en la calidad de ellos, sin tener una idea de cuál es la influencia que tiene directamente en la resistencia del concreto, y si se está respetando la normatividad colombiana. Esto sucede porque se confía en la experiencia de los profesionales que están allí presentes y otras veces por negligencia de las empresas que quieren ahorrar costos en ensayos de laboratorio, y si se efectúan no son realizados de manera correcta. Adicionalmente cuando se construyen estructuras mezclando el concreto en obra se presume que el concreto está llegando a resistencias típicas de 3000 psi, condicionando la geometría de los elementos. Al apuntar a una resistencia superior, esto podría significar la reducción de las dimensiones, optimizando costos e incluso el espacio útil

1.2.2 Formulación del problema

Es por esto que es relevante realizar un trabajo de investigación que permita determinar cuál es el comportamiento mecánico a compresión que brindan los

agregados de diferente origen geográfico a una mezcla de concreto para llegar a una resistencia propuesta de 4000 psi.

¿Es posible llegar a una resistencia de 4000 psi utilizando el método empírico de mezclas de concreto de tipo relación de volumen cemento- agregado, variando el agregado respecto a su origen de extracción (Cajicá, Madrid y Guamo), comercialmente distribuidos en la ciudad de Bogotá?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Realizar un estudio comparativo de diferentes probetas de concreto constituidas por agregados pétreos de las canteras de Cajicá, Madrid y el Guamo, para evidenciar cuál de estas otorga mejores propiedades a compresión en una mezcla diseñada a 4000 psi.

1.3.2 Objetivos específicos

- Revisión de las características de los agregados que serán objeto de estudio sugerido en la normatividad colombiana.
- Realizar la caracterización mecánica mediante ensayos de compresión a probetas de concreto constituidas por agregados de cada una de las canteras de estudio, para evidenciar el potencial mecánico que brinda cada una de ellas.
- Comparar los resultados obtenidos en los ensayos de compresión para cada uno de los tres agregados.

1.4 JUSTIFICACION

En la actualidad los agregados utilizados en obras de bajo presupuesto, como construcciones pequeñas o reparaciones en la ciudad de Bogotá son los extraídos de canteras que se encuentran a su alrededor, y de estas canteras las que más material proporcionan son la de Cajicá, Madrid y el Guamo, a los cuales no se les realiza un control de calidad, detectando impurezas como materia orgánica. Es por esto la importancia de este trabajo de investigación, ya que lo que se quiso fue comprobar por medio de ensayos de laboratorio si los agregados que se extraen de estos sitios pueden llegar a obtener una resistencia superior a los 4000 psi siguiendo el procedimiento en mezclas de concreto tipo relación cemento-concreto sin el uso de aditivos ni de eliminación de impurezas.

1.5 DELIMITACIÓN

1.5.1 Espacio.

El presente trabajo se desarrolló inicialmente en la obra de construcción de cerramiento realizada por la empresa Balva S.A.S, donde por medio de un proveedor se hizo la consecución del material de las canteras de los municipios de Cajicá, Madrid y el Guamo. Los ensayos y elaboración de informes fueron realizados en las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia y en sitios de reunión coordinados por los involucrados.

1.5.2 Tiempo.

Se tuvo presente un tiempo de 20 semanas, las cuales se contaron desde la consecución de los recursos para el desarrollo del proyecto hasta el cierre y finalización de actividades de laboratorio con sus respectivos resultados. Cabe decir

que se solicitaron los respectivos permisos necesarios para el uso de los laboratorios de la Universidad.

1.5.3 Contenido

Se hace entrega de un documento en donde se plasmarán los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio por medio de fotografías, gráficas y tablas, sustentando los análisis y dando una evaluación de la resistencia alcanzada por los especímenes de prueba.

1.5.4 Alcance

Este proyecto de investigación se limita a hacer una caracterización básica de los agregados, teniendo en cuenta que lo más relevante es la revisión de los resultados finales de compresión de los tres agregados seleccionados (Cajicá, Madrid y El Guamo). No se tendrán en cuenta ensayos de tensión ni una evaluación sísmica, ya que extendería demasiado el alcance. Los resultados de los ensayos se encuentran también supeditados a la calibración con que cuenten los equipos.

1.6 MARCO DE REFERENCIA

1.6.1 Marco teórico

En una mezcla de concreto convencional y de altas prestaciones, los agregados tales como gravas, arenas o roca triturada, ocupan unas tres cuartas partes del volumen total del concreto, es por esto que un componente que ocupa tales proporciones deba ser revisado y evaluado desde distintos puntos de vista, para dar con aquel que cumpla con el objetivo que se le quiera trazar al uso del concreto que se quiera lograr, bien sean altas resistencias, concretos livianos, concretos

pesados, resistencia térmica o recubrimiento contra la radiación. (Sánchez de Guzmán, 2001)

Los agregados inicialmente cumplen una función de reducir los costos de la mezcla, ya que su consecución es prácticamente fácil dentro de la naturaleza, además de que cuando el concreto pasa a un estado endurecido, estos controlan cambios volumétricos, evitando agrietamientos por retracción que afecten sus características (Sánchez de Guzmán, 2001)

La opción más utilizada para la elaboración de concreto de buena calidad es la utilización de al menos dos tamaños de agregados, agregado fino y agregado grueso. En Estados Unidos la norma ASTM C 136 – 01, adaptada en Colombia como la INVIAS 123, la división se realiza a partir del tamiz número 4 (4,75 mm o 3/16 de pulgada) (American Society of Concrete Contractors, 2005)

Para la obtención de mejores características de resistencia a partir de la variable de agregados se sugiere adicionalmente revisar el módulo de finura (parámetro que define que tan gruesa es la arena) de los agregados finos. A través de diversos estudios se ha concluido que módulos de finura entre 2,7 y 3,2 mejoran notablemente la resistencia a compresión. En cuanto a los agregados gruesos para mejorar las prestaciones se ha encontrado que a menor tamaño mayor será la resistencia. (Barrera, 2006)

La relación agregado grueso/agregado fino (AG/AF) también es una variable importante al mejorar la resistencia del concreto. Para relaciones AG/AF superiores a 1,5 la resistencia es directamente proporcional al tamaño máximo del agregado, cuando es cercana a 1 la mezcla es muy seca, cerca de 2 el contenido de agregado grueso es muy alto. (Barrera, 2006)

La adherencia entre los agregados y la pasta de cemento es un factor importante que afecta la resistencia, especialmente a la flexión, aunque no se tienen estudios

bastante completos sobre este tema, la adherencia se debe principalmente a la aspereza que presenten los agregados y que permiten mejor agarre con la pasta. También un aspecto importante que mejora la adherencia es la menor presencia posible de arcillas en el agregado que no permiten contacto directo entre la pasta y el agregado (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 2013).

La resistencia del concreto es claramente inferior a los agregados que contiene, sin embargo, no es sencillo determinar la resistencia individual de solo los agregados, para esto se han realizado ensayos indirectos como evaluación de la trituración, desgaste por abrasión, etc. En términos generales la resistencia que ofrece un agregado depende de su composición textura y estructura, ya que se pueden tener agregados que soporten grandes cargas pero que no funcionen bien al cementarse y trabajar en conjunto. La tabla 1 muestra la resistencia ofrecida por algunos agregados comúnmente utilizados en mezclas de concreto (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 2013)

Tabla 1. Resistencia a la compresión de rocas de américa utilizadas comúnmente como agregados para concreto

Tabla 3.6 Resistencia a la compresión de rocas de América utilizadas comúnmente como agregados para concreto ^{3.6}							
Tipo de roca	Número de muestras	Resistencia a la compresión					
		Promedio [†]		Después de la eliminación de extremos [‡]			
				Máximo		Mínimo	
k g/cm ²	MPa	k g/cm ²	MPa	k g/cm ²	MPa		
Granito	278	1842	181	2622	257	1167	114
Felsita	12	3304	324	5365	526	1223	120
Roca tiapieana	59	2890	283	3846	377	2053	201
Caliza	241	1617	159	2454	241	949	93
Arenisca	79	1336	131	2447	240	450	44
Mármol	34	1188	117	2489	244	520	51
Cuarcita	26	2566	252	4310	423	1265	124
Gneis	36	1498	147	2397	235	956	94
Esquisto	31	1730	170	3030	297	928	91

[†]Para la mayoría de las muestras, la resistencia a la compresión es un promedio de 3 a 15 especímenes.

[‡]Promedio de todas las muestras.

[‡]10 % de todas las muestras probadas con los valores más altos o más bajos se han eliminado por no ser representativo del material.

Fuente: (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 2013)

En Colombia se encuentra que la normativa de construcción, en este caso la NSR-10 (Norma Sismo Resistente de 2010), dice en el Título C 3.3 que dice lo siguiente: “C.3.3.1-Los agregados para el concreto deben cumplir con una de las siguientes normas:

- a) Agregado de peso normal. NTC 174 (ASTM C33).
- b) Agregado liviano: NTC 4045 (ASTM C330)”. (Ministerio de Vivienda, 2012)

Haciendo revisión de la NTC (norma técnica colombiana) 174 se encuentra que ésta menciona los requisitos de gradación y calidad para los agregados finos y gruesos y adicionalmente refiere otras normas complementarias, las cuales son:

- Gradación y módulo de finura NTC 77 (ASTM C 136)
- Cantidad que pasa el tamiz 75 μm (No. 200) NTC 78 (ASTM C 117).
- Determinación de la densidad y la absorción de agregados grueso NTC 176
- Determinación de la humedad de los agregados NTC 1776

Para realizar las mezclas con los distintos agregados se utilizará una dosificación igual para todos a partir de la siguiente tabla con estimaciones entre resistencia y 1m^3 de concreto, para determinar la cantidad de cemento, ya que cada cantera proporcionará un índice de agregados finos y gruesos según lo comercialicen.

En la tabla 2 se muestra la dosificación de concretos por el método empírico de relación de volúmenes cemento-agregado.

Tabla 2. Dosificación de concretos

TABLA DE DOSIFICACIÓN DE CONCRETOS - CANTIDADES POR m3 DE CONCRETO															
DISEÑO	Resistencia F'c			CEMENTO		ARENA		GRAVA		AGUA					
										Agregado Humedo		Agregado Seco		PROMEDIO	
	Kg/cm2	PSI	Mpa	Kilos	Bultos (50 Kg)	m3	Latas (19 Lts)	m3	Latas (19 Lts)	Lts.	Latas (19 Lts)	Lts.	Latas (19 Lts)	Lts.	Latas (19 Lts)
1, 2, 2	280	4000	27	420	8.4	0.67	35	0.67	35	180	9.5	200	10.5	190	10.0
1, 2, 2-1/2	240	3555	24	380	7.6	0.60	32	0.76	40	170	8.9	190	10.0	180	9.5
1, 2, 3	226	3224	22	350	7.0	0.55	29	0.84	44	160	8.4	180	9.5	170	8.9
1, 2, 3-1/2	210	3000	20	320	6.4	0.52	27	0.90	47	160	8.4	180	9.5	170	8.9
1, 2, 4	200	2850	19	300	6.0	0.48	25	0.95	50	145	7.6	170	8.9	158	8.3
1, 2 - 1/2, 4	189	2700	18	280	5.6	0.55	29	0.89	47	145	7.6	170	8.9	158	8.3
1, 3, 3	168	2400	16	300	6.0	0.72	38	0.72	38	145	7.6	170	8.9	158	8.3
1, 3, 4	159	2275	15	260	5.2	0.63	33	0.83	44	140	7.4	185	9.7	163	8.6
1, 3, 5	140	2000	14	230	4.6	0.55	29	0.92	48	135	7.1	160	8.4	148	7.8
1, 3, 6	119	1700	12	210	4.2	0.50	26	1.00	53	130	6.8	155	8.2	143	7.5
1, 4, 7	109	1560	11	175	3.5	0.55	29	0.98	52	120	6.3	145	7.6	133	7.0
1, 4, 8	99	1420	10	160	3.2	0.55	29	1.03	54	110	5.8	140	7.4	125	6.6

Fuente: (Martinez, 2006)

1.6.2 Marco conceptual

1.6.2.1 Concreto.

Se obtiene a partir de la mezcla entre cemento, agregados pétreos gruesos o piedra, agregado fino o arena y agua, El cemento, el agua y los agregados finos constituyen una pasta cuya función es la de unir los agregados gruesos llenando los vacíos que las separan. En la teoría la pasta de mortero solo debería ocupar dicho espacio entre partículas de agregado grueso, en la práctica el volumen es mayor para evitar en lo posible la formación de vacíos. (Love, 1973)

Algunas de las propiedades del concreto son:

Trabajabilidad: Una proporción alta de la relación agua cemento mejora la trabajabilidad del concreto, que se define como la facilidad con la que la lechada puede llenar todos los espacios de un encofrado, es decir que se pueda manejar,

transportar y vaciar sin que se produzca la separación de los componentes del hormigón. (American Society of Concrete Contractors, 2005)

Exudación: Una parte del agua de la mezcla sube a la superficie del concreto colocado y compactado, esto se debe al asentamiento de los agregados. Esto es algo normal y la mayoría de ocasiones no disminuye la calidad del concreto, pero si no se controla puede debilitar superficialmente el material (Steven H.Kosmatka, 2004).

Consistencia o fluidez: Lo que indica esta propiedad es que tan dura o blanda es la mezcla. Con el grado de fluidez podemos establecer en qué condiciones de calidad y humedad está el concreto, esto se determina por medio del ensayo de asentamiento del cono de Abrams, tanto en obra como en laboratorio.

1.6.2.2 Cemento.

Es un producto obtenido a través de la pulverización del Clinker el cual es producido por la calcinación hasta la fusión incipiente de materiales arcillosos y calcáreos. El cemento tiene los siguientes componentes que cumplen diversas funciones:

- Silicato tricálcico: confiere la resistencia inicial y agente directo del calor de hidratación
- Silicato dicálcico: Da la resistencia a largo plazo y no influye en el calor de hidratación
- Aluminato tricalcico: Catalizador para la reacción de los silicatos y da un fraguado violento, este fenómeno se retrasa con la adición de yeso
- Aluminio ferrato tetracálcico: Influye en la velocidad de hidratación y en el calor de hidratación. (Harmsen, 2005)

1.6.2.3. Clasificación de los agregados

1.6.2.3.1. Por tamaño

- **Agregados finos:** Tanto los agregados finos como los gruesos son componentes inertes de la mezcla del concreto ya que no intervienen químicamente en las reacciones del agua o el cemento. Un buen agregado fino debe ser fuerte, durable y libre de materias impuras como arcillas o materia orgánica. No debe tener más del 5% de materiales arcillosos ni el 1,5% de materias orgánicas. (Harmsen, 2005) . Se definen como aquellos cuyas partículas tienen un tamaño inferior a 4,8mm y superior a 75 un Numero 200 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1999)
- **Agregado grueso:** Este agregado está constituido por rocas graníticas dioríticas y sieníticas. Puede usarse piedra partida a partir de procesos de explotación o grava obtenida de lechos de ríos. Al igual que el agregado fino no debe tener más de 5% de materias impuras arcillosas ni el 1,5% de materias orgánicas. (Harmsen, 2005). Agregado predominantemente retenido por el tamiz de 4,77mm. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1999)

1.6.2.3.2. Por fragmentación

- **Naturales:** Son aquellos agregados fragmentados por procesos naturales como depósitos fluviales y canteras de roca natural.
- **Manufacturados:** Son aquellos agregados obtenidos por procesos de fragmentación mecánica.

1.6.2.3.3. Por su gravedad específica

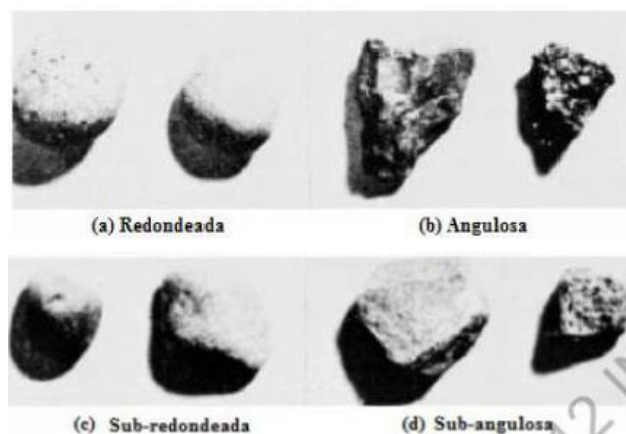
- **Ligeros:** Son de origen ígneo, muy utilizados en rellenos y mampostería no estructural, su gravedad específica es menor a 2.5 y entre ellos encontramos diferentes arcillas.
- **Normales:** Son los más usuales, provienen de la superficie de las rocas, su gravedad específica se encuentra entre 2.5 y 2.75. Podemos encontrar dentro de estos materiales arena, grava y roca triturada
- **Pesados:** Son materiales conformados por gran cantidad de hierro como la magnetita y la pirita, son empleados en estructuras anti radiación y contrapesos, su gravedad específica es mayor a 2.75. (Esperanza, 2014).

1.6.2.3.4. Por su forma

- **Angulosa:** Partículas con bordes agudos y caras relativamente planas con superficies sin pulir.
- **Sub-angulosa:** Partículas similares a las angulosas, pero con bordes algo redondeados
- **Sub-redondeada:** Partículas con casi todas las caras planas, pero con esquinas y bordes redondeados.
- **Redondeada:** Partículas con lados curvados suavemente y sin bordes.
- **Alargada:** Su longitud es mucho mayor que las otras dimensiones (Bernal, 2017).

En la ilustración 1 se evidencias las formas típicas de los agregados:

Ilustración 1. Forma de las partículas



Fuente: (Bernal, 2017)

1.6.2.4. Propiedades mecánicas de los agregados

- **Resistencia a compresión del agregado:** La resistencia de los agregados es directamente proporcional a la resistencia del concreto, esta depende de la composición, textura y estructura de la partícula, además de esto la resistencia del concreto nunca será mayor que la de los agregados que lo conforman.

En la tabla 3 relacionan las resistencias típicas de algunos tipos de rocas:

Tabla 3. Valores típicos de resistencia compresión

Tipo de roca	Resistencia a compresión kg/cm ²
granito	1842
felsita	3304
trapa	2890
caliza	1617
arenisca	1336
mármol	1188
cuarcita	2566
gneis	1498
esquisto	1730

Fuente: (Autores)

- **Tenacidad:** Es la resistencia que tiene una partícula a la falla por impacto, si las partículas presentan una baja tenacidad puede afectar la granulometría e indicar una baja calidad para ser utilizados en el concreto.

- **Resistencia a la abrasión:** También llamada resistencia al desgaste, es un parámetro esencial cuando se trata de concretos sujetos al desgaste como pavimentos. La baja resistencia al desgaste causa un aumento de material fino durante el mezclado y así mismo un ajuste en la relación agua-cemento.
- **Resistencia a congelación y deshielo:** Característica importante para un concreto que se aplique exteriormente, está relacionado directamente con la absorción, la porosidad y permeabilidad. Durante el congelamiento las partículas pueden absorber tanta agua y llegar a una saturación crítica que ocasionan una desintegración del concreto. (Steven H.Kosmatka, 2004)

1.7 METODOLOGÍA.

1.7.1 Tipo de estudio

- Investigación cualitativa y cuantitativa basada en técnicas de observación y de aplicación de ensayos.
- Alcance descriptivo y numérico.

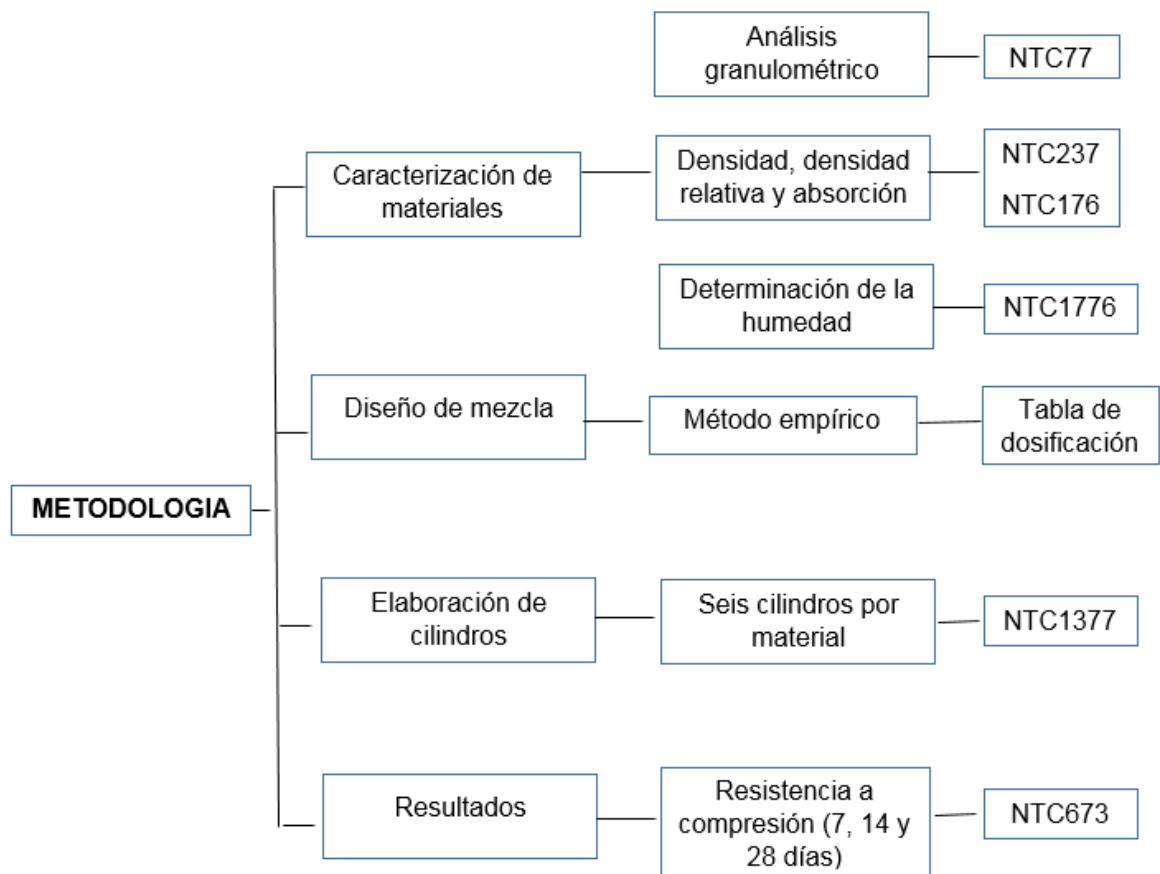
1.7.2 Fuentes de información

Se indago con profesionales de la construcción y proveedores sobre las principales fuentes de materiales pétreos que suministran comercialmente a la ciudad de Bogotá. Adicionalmente se revisa la norma que rige en Colombia para concretos estructurales, para tener una precisión en cuanto a conceptos y especificaciones, en este caso la NSR 10, INVIAS y NTC. Además de esto se hace la respectiva revisión de bibliografía relacionada con el tema de investigación, en cuanto a materiales, teorías sobre agregados y su incidencia en la resistencia, procedimientos, ensayos y especificaciones técnicas.

1.7.3 Fases metodológicas

Se desarrolla una metodología basada en las fases de planeación, ejecución y desarrollo con las cuales se busca alcanzar los objetivos planteados. En la siguiente ilustración se describen las actividades principales.

Ilustración 2. Metodología



Fuente: Autores

2. CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

Se debe realizar una correcta clasificación del material teniendo en cuenta diferentes parámetros como su procedencia, su tamaño y su textura superficial, iniciando con un lavado para eliminar impurezas y poder hacer una inspección visual, y siguiendo los lineamientos de la normativa, de tal forma que puedan brindar unas capacidades altas de resistencia en las muestras y se pueda llegar a obtener valores cercanos para compresión a los 4000 psi.

En la tabla 4 se referencian los principales ensayos realizados a los agregados

Tabla 4. Ensayos para caracterización de agregados

ENSAYO	OBJETO	NORMA
Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino	Determinación cuantitativa de las distribución de los tamaños de las partículas de los agregados de un material por tamizado	INV E-213-13 NTC77
Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino	Determinar la densidad relativa y la absorción de agregados finos	INV E-222-13 NTC237
Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción agregado grueso	Determinar la densidad relativa y la absorción de agregados gruesos	INV E-216-13 NTC176
Determinación de la humedad de los agregados	Determinar el porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado sometida a secado.	INV E-242-13 NTC 1776

Fuente: Autores

2.1 HUMEDAD NATURAL BASADA EN LA NORMA

La humedad natural o contenido de humedad de un agregado según INVIAS (INV-216) es la relación expresada como porcentaje del peso del agua contenida en un

material respecto al peso del material seco. En la humedad natural solo se tiene en cuenta la humedad evaporable, que es la que se encuentra entre partículas y la alojada en los poros de cada una de ellas, no se tiene en cuenta el agua que pudiera estar contenida dentro de los minerales.

Los materiales porosos tienden a contener más humedad, sucede lo mismo entre más fino sea el material, el contenido de humedad debe tenerse en cuenta al momento de diseñar una mezcla para concreto, ya que esto puede afectar al trabajabilidad del concreto y su resistencia.

De acuerdo al ensayo realizado en el laboratorio se obtuvieron los siguientes porcentajes de humedad para agregado fino y agregado grueso:

Tabla 5. Resultados ensayo humedad natural agregados finos

finos	Guamo	Cajicá	Madrid
W (masa original muestra g)	434	494	446
D (masa muestra seca g)	416	470	433
Wp (Humedad evaporable de la muestra %)	4,33	5,11	3

Fuente: Autores

Tabla 6. Resultados ensayo humedad natural agregados gruesos

Gruesos	Guamo	Cajicá	Madrid
W (masa original muestra g)	538	500	458
D (masa muestra seca g)	506	490	444
Wp (Humedad evaporable de la muestra %)	6,32	2,04	3,15

Fuente: Autores

2.2 DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO Y GRUESO

La densidad está definida en la norma INVIAS (INV222-INV223) como la relación que hay entre la masa por unidad de volumen de un material, pero se debe tener en

cuenta para los agregados que generalmente entre sus partículas o poros puede haber vacíos que pueden estar parcialmente saturados o llenos de agua.

La densidad aparente es la que más importancia tiene, ya que influye en la resistencia de los concretos, y se define como la relación de masa y volumen del material sólido teniendo en cuenta los poros en el interior de la partícula. (Rivera, 2009)

La absorción es un valor que representa la humedad del agregado cuando tiene todos sus poros llenos de agua pero su superficie se encuentra seca. Bajo estas condiciones se hacen los cálculos de dosificación para la mezcla de concreto.

Cuando la humedad del agregado es inferior a la absorción, se debe agregar más agua al concreto para así compensar el agua que absorberán los agregados, si la humedad supera la absorción se tiene que disminuir la cantidad de agua en la mezcla debido a que los agregados aportarán agua a la misma.

No se encuentra en la literatura parámetros de absorción fijos, pero se considera lo siguiente:

Para el agregado grueso son rocas de buena calidad aquellas que tengan un porcentaje de absorción menor al 3%.

Para el agregado fino se consideran de buena calidad aquellos que tengan un porcentaje de absorción menor al 5%. (Zapata, 2016)

La absorción para agregados finos de origen natural está entre 0.8 y 1.3%, los triturados entre un 0.9%, los agregados gruesos de piedra partida están en un 0.8%, en 1.8 para los cuarcíticos y 1.6 para basálticos.

Una partícula porosa no es igual de resistente a una partícula maciza, esto afecta directamente la adherencia y la resistencia a compresión del concreto. (Barrera, 2006)

La ilustración 3 muestra el proceso de secado con pistola de calor.

Ilustración 3. Procedimiento de secado del agregado fino



Fuente: Autores

En las tablas 7 y 8 se resumen los datos obtenidos en laboratorio para la densidad de los agregados.

Tabla 7. Densidades y absorción agregado fino

Parámetros de laboratorio	Agregado Fino		
	Cajicá	Guamo	Madrid
Masa superficialmente seca (g)	500	500	500,5
Masa picnometro+arena+agua (g)	986	997	958,3
Masa material seco (g)	488	493	495,6
Masa del picnometro+agua (g)	684	691	651,1
Densidad nominal (kg/m ³)	2458,5	2534,9	2557,4
Densidad saturada superf. seca sss(kg/m ³)	2518,9	2570,9	2582,8
Densidad aparente(kg/m ³)	2617,1	2629,8	2624
Absorcion %	2,46	1,42	0,99

Fuente: Autores

Tabla 8. Densidades y absorción agregado grueso

Parámetros de laboratorio	Agregado grueso		
	Cajicá	Guamo	Madrid
Masa de la muestra seca al horno (g)	2031,4	2065,8	2044,6
Masa de la muestra superficialmente seca (g)	2050,5	2083,5	2061
masa aparente de la muestra saturada en agua (g)	1184	1221	1266
Densidad sh (kg/m3)	2338,51	2389,14	2565,39
Densidad saturada superf. seca sss(kg/m3)	2360,5	2409,61	2585,97
Densidad aparente(kg/m3)	2391,22	2439,2	2619,43
Absorción %	0,94	0,86	0,8

Fuente: Autores

Podemos obtener la gravedad específica de cada material dividiendo la densidad seca al horno (SH) entre la densidad del agua que es 997.5 kg/m3 para poder clasificarlo según la tabla 9 extraída del libro de Juárez Badillo.

Tabla 9. Clasificación de rocas con gravedad específica y absorción

Tipo de roca	Gravedad específica (SH)	Absorción, ¹ (%)
Igneas		
Granito	2.65	0.3
Sienita	2.74	0.4
Diorita	2.92	0.3
Gabro	2.96	0.3
Peridotita	3.31	0.3
Felsita	2.66	0.8
Basalto	2.86	0.5
Diabasa	2.96	0.3
Sedimentarias		
Piedra caliza	2.66	0.9
Dolomita	2.70	1.1
Arcilla esquistosa	1.80-2.50	
Arenisca	2.54	1.8
Chert	2.50	1.6
Conglomerado	2.68	1.2
Brecha	2.57	1.8
Metamórficas		
Gneis	2.74	0.3
Esquistos	2.85	0.4
Anfibolita	3.02	0.4
Pizarra	2.74	0.5
Cuarzita	2.69	0.3
Mármol	2.63	0.2
Serpentina	2.62	0.9

Fuente: (Juarez, 2005)

2.3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS GRUESO Y FINO

La granulometría representa la distribución de tamaños de los agregados según INVIAS (INV 213), para conocer esta distribución se debe realizar el análisis granulométrico por medio de unos tamices con diferentes tamaños de aberturas cuadradas que se encuentran estandarizados.

Según su tamaño podemos clasificar el suelo de la siguiente forma:

- Cantos rodados: Partículas de tamaño mayor a 5"
- Guijarros: Partículas de 3" a 5"
- Gravas: Partículas de 3" a 4.76 mm
- Arenas: Partículas de 4.76 mm a 0.074 mm

Con la granulometría podemos obtener el coeficiente de uniformidad (C_u) que representa la relación entre el diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa el 60% de material y el diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa un 10% y el coeficiente de curvatura (C_c), que se emplean para clasificar los suelos en:

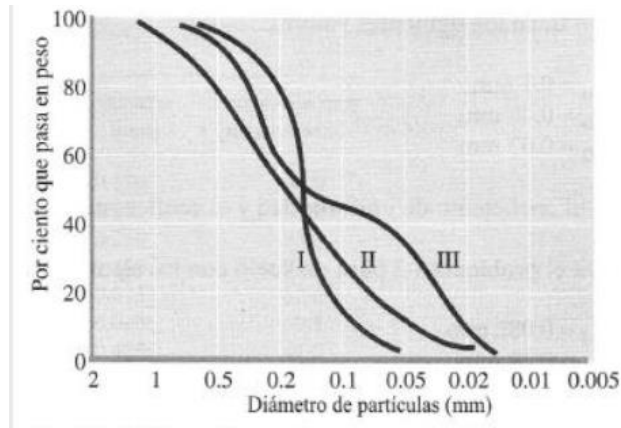
- Suelo bien gradado: Cuando contiene todos los tamaños posibles, es decir que las partículas pequeñas ocupan los vacíos que dejan las grandes
- Suelo mal gradado: Cuando las partículas tienden a ser de un mismo tamaño.

Para un suelo bien gradado el C_u debe ser mayor a 6 para arenas y mayor a 4 para gravas, el C_c debe estar entre 1 y 3 para arenas y gravas.

La representación de tamaños se hace mediante la curva granulométrica que es una gráfica del porcentaje que pasa vs el diámetro de las partículas en base logarítmica. (Bernal, 2017)

En la ilustración 4 se muestran las curvas típicas de granulométricas:

Ilustración 4.Tipos diferentes de curvas granulométricas



Fuente: (Juarez, 2005)

Donde la gráfica corresponde a

- I Suelo mal gradado
- II Suelo bien gradado
- III Granulometría discontinua

A continuación, se muestra las tablas y graficas granulométricas para cada agregado.

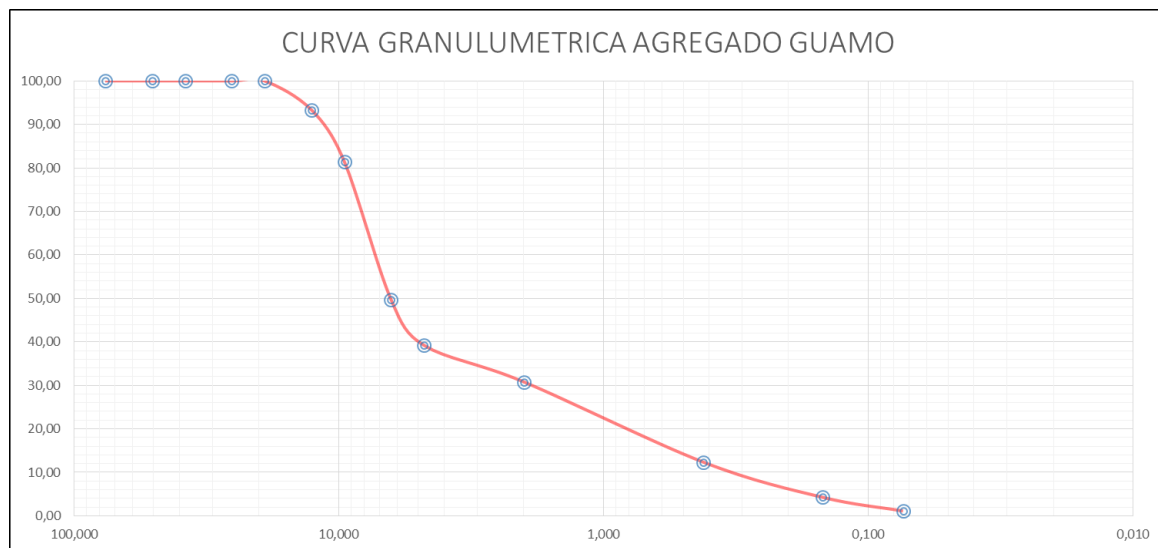
Tabla 10. Características granulométricas agregado del Guamo

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
3"	76,200	0,00	0,00		100,00
2"	50,600	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,700	124,90	6,61	6,61	93,39
3/8"	9,525	225,80	11,95	18,56	81,44
1/4"	6,350	598,60	31,68	50,24	49,76
N° 4	4,760	199,50	10,56	60,80	39,20
N° 10	2,000	158,60	8,39	69,19	30,81
N° 40	0,420	348,60	18,45	87,64	12,36
N° 100	0,149	152,80	8,09	95,73	4,27
N° 200	0,074	59,60	3,15	98,88	1,12
Fondo		21,10	1,12	100,00	0,00
Total		1889,50	100,00		

Datos de muestra		
Peso inicial:	1889,50	gr
Peso lavado:	1868,40	gr
Pérdida:	21,10	gr
Características granulométricas		
D10:	0,341	
D30:	1,011	
D60:	4,500	
Cu:	13,197	
Cc:	0,666	
Descripción		
Suelo arenoso con limos		
% De Los Agregados		
% Grava	0,61	
% Arena	0,38	
Pasa # 200	1,12	
MDF	3,2	

Fuente: Autores

Ilustración 5. Curva granulométrica agregado del Guamo



Fuente: Autores

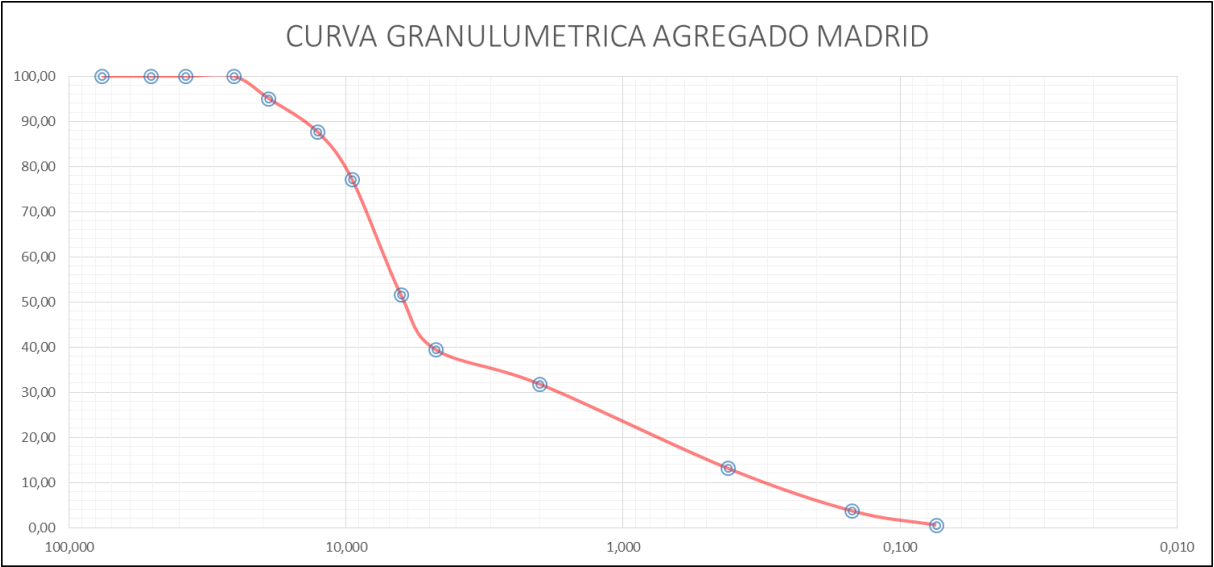
Tabla 11. Características granulométricas agregado de Madrid

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
3"	76,200	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,600	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	102,30	4,89	4,89	95,11
1/2"	12,700	154,60	7,39	12,28	87,72
3/8"	9,525	220,60	10,54	22,82	77,18
1/4"	6,350	534,30	25,53	48,35	51,65
N° 4	4,760	254,30	12,15	60,50	39,50
N° 10	2,000	160,80	7,68	68,18	31,82
N° 40	0,420	389,50	18,61	86,80	13,20
N° 100	0,149	198,20	9,47	96,27	3,73
N° 200	0,074	65,80	3,14	99,41	0,59
Fondo		12,30	0,59	100,00	0,00
Total		2092,70	100,00		

Datos de muestra		
Peso inicial:	2092,70	gr
Peso lavado:	2080,40	gr
Pérdida:	12,30	gr
Características granulométricas		
D10:	0,328	
D30:	0,901	
D60:	4,393	
Cu:	13,378	
Cc:	0,562	
Descripción		
Suelo arenoso con limos		
% De Los Agregados		
% Grava	0,61	
% Arena	0,39	
Pasa # 200	0,59	
MDF	3,2	

Fuente: Autores

Ilustración 6. Curva granulométrica agregado de Madrid



Fuente: Autores

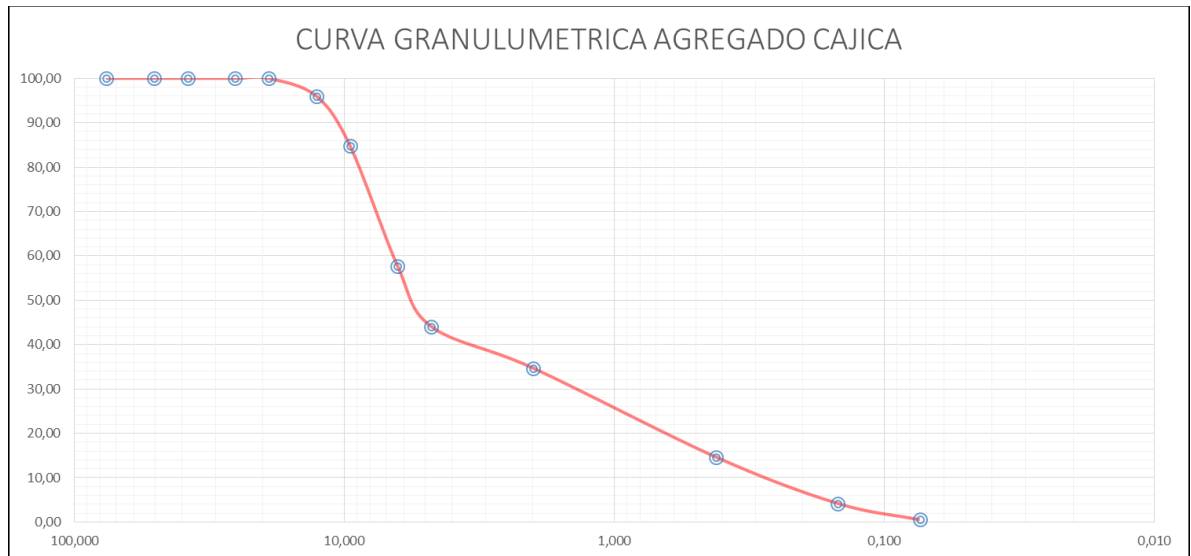
Tabla 12. Características granulométricas agregado de Cajicá

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
3"	76,200	0,00	0,00		100,00
2"	50,600	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,700	78,20	3,97	3,97	96,03
3/8"	9,525	220,60	11,20	15,17	84,83
1/4"	6,350	534,30	27,12	42,29	57,71
N° 4	4,760	268,63	13,64	55,93	44,07
N° 10	2,000	184,20	9,35	65,28	34,72
N° 40	0,420	395,30	20,07	85,35	14,65
N° 100	0,149	205,50	10,43	95,78	4,22
N° 200	0,074	72,60	3,69	99,47	0,53
Fondo		10,50	0,53	100,00	0,00
Total		1969,83	100,00		

Datos de muestra		
Peso inicial:	1969,83	gr
Peso lavado:	1959,33	gr
Pérdida:	10,50	gr
Características granulométricas		
D10:	0,299	
D30:	0,819	
D60:	3,990	
Cu:	13,338	
Cc:	0,561	
Descripción		
Suelo arenoso con limos		
% De Los Agregados		
% Grava	0,56	
% Arena	0,44	
Pasa # 200	0,53	
MDF	3,2	

Fuente: Autores

Ilustración 7. Curva granulométrica agregado de Cajicá



Fuente: Autores

3. ELABORACION DE CILINDROS

Se realizarán los ensayos a compresión de las probetas de muestra tal y como se describen en la norma ASTM C-39 Y NTC 673, Se deben registrar la totalidad de datos para que se no se tenga incertidumbre grande en los resultados y se tendrá registro fotográfico de los tipos de fallas que se produzcan en las muestras.

En la tabla 13 se resumen las normas aplicadas a la elaboración de cilindros de concreto

Tabla 13. Ensayos sobre muestras de concreto

ENSAYO	OBJETO	NORMA
Elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio para ensayos de compresión	Establecer procedimientos para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio bajo un control de materiales y de las condiciones de ensayo	INV E-402-13 NTC 1377
Resistencia a la compresión de cilindros de concreto	Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.	INV E-410-13 NTC 673

Fuente: Autores

Para lograr un resultado óptimo de los tres agregados, se decidió elaborar dos probetas por periodo de falla de cada material, es decir 6 probetas en total para cada agregado, fallando 2 a los 7 días de curado, 2 a los 14 días y finalmente 2 a los 28 días. Esto con el fin de minimizar el error que se pudiera presentar al momento de cada falla, revisando que la dispersión entre las dos probetas de un mismo agregado no tuviera una variación considerable y también siendo óptimos en la utilización de los tiempos de laboratorio y de las practicas.

Para la elaboración de este trabajo se optó por mezclas de método empírico de tipo relación de volumen agregado/cemento, esto con el fin de apuntar a una realidad en construcciones convencionales que no utilizan diseño de mezcla ya que en pequeñas construcciones no es algo común. Así pues, lo primero es utilizar de referencia la tabla 2 que se encuentra en el marco teórico de este trabajo, para determinar la cantidad de material que requiere un m³ a 4000 psi, llevándolo al volumen de las probetas con una sencilla regla de tres.

Dado que las probetas no son exactamente iguales, pero su variación oscila entre un milímetro se adoptan las siguientes medidas para todas:

Alto: 20 cm ± 0,1, Diámetro: 10 cm ± 0,1

$$Volumen\ probeta = \frac{\pi(10cm)^2}{4} \times 20cm = 1570\ cm^3$$

$$1m^3 = 1000000cm^3$$

Tabla 14 Dosificación para probeta para 4000 psi

Diseño	Resistencia (psi)	Dosificación para un m ³ de concreto				Dosificación para volumen de cilindro en cm ³			
		Cemento (kg)	Arena (m ³)	Grava (m ³)	Agua (l)	Cemento (kg)	Arena (cm ³)	Grava (cm ³)	Agua (l)
1,2,2	4000	420	0,67	0,67	180	0,6594	1051,9	1051,9	0,2826

Fuente (autores)

Obtenidas las cantidades de los materiales, se procedió a realizar las 18 probetas, siguiendo las recomendaciones del laboratorista dentro de los parámetros de la norma INV E 402-13, engrasando los moldes para sacar el concreto con mayor facilidad, usar golpes o punzar el concreto para eliminar el vacío.

En las ilustraciones 8 y 9 se observa el método de mezcla de elaboración de cilindros

Ilustración 8 Mezcla de materiales con trompo



Fuente: Autores

Ilustración 9 Elaboración de cilindros



Fuente: Autores

El método con el que se cuenta en el laboratorio para favorecer el curado es el de anegamiento, en el cual los cilindros son desmoldados a las 24 horas de elaboración para ser sumergidos en agua durante todo su proceso, garantizando su constante hidratación

En la ilustración 10 se ve en que consiste el proceso de anegamiento

Ilustración 10 Proceso anegamiento



Fuente: Autores

4. ENSAYOS DE COMPRESION

Pasado el periodo requerido para fallar las probetas se correspondió a hacer el procedimiento a los 7 ,14 y 28 días tal como lo solicitan las pruebas. Dado que la prensa hidráulica para ensayo de compresión de concreto está colocando sobre la probeta una fuerza en kN, se debe determinar el área de las probetas para obtener el esfuerzo al que están sometidas y hacer la conversión a psi.

$$Area\ probeta = \frac{\pi(100)^2}{4} = 7854\ mm^2$$

$$\frac{1N}{mm^2} = 145\ psi$$

A continuación, los resultados obtenidos (la incertidumbre de la presa esta entre \pm 0.1 kN)

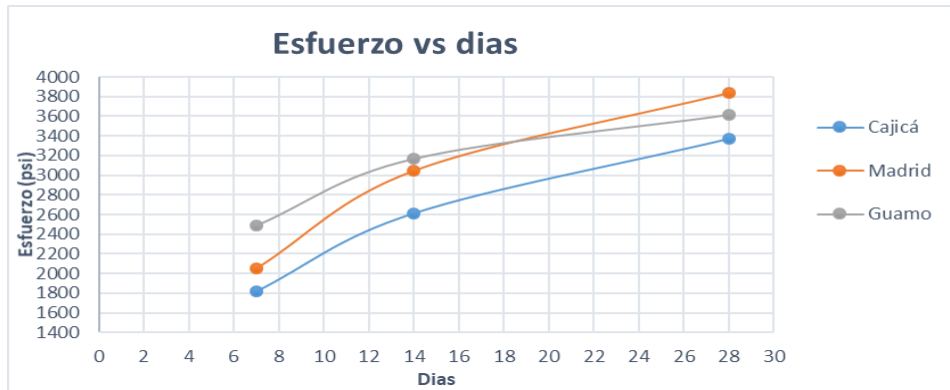
Tabla 15 Resistencias obtenidas

Periodo de falla (días)	Fuerza registrada (kN)						Resistencia (psi)					
	Cajica		Madrid		Guamo		Cajica		Madrid		Guamo	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
7	97	100	107	115	128	142	1791	1846	1975	2123	2363	2622
14	140	143	167	163	174	169	2585	2640	3083	3009	3212	3120
28	181	184	206	210	199	192	3342	3397	3803	3877	3674	3545

Fuente: Autores

En la ilustración 11 se consolidan los resultados obtenidos promediando los valores de los dos cilindros de cada agregado por cada periodo de falla.

Ilustración 11 Comparación del comportamiento de los tres agregados



Fuente: Autores

En la ilustración 12 se observa un ejemplo de cómo fue el proceso de falla de los cilindros

Ilustración 12 Ejemplo de fallo de cilindro y máxima resistencia lograda



Fuente: Autores

5. ANALISIS DE RESULTADOS

Al realizar una inspección visual inicial del material, lavándolo y eliminando impurezas como materia orgánica, limos y arcillas, se puede observar que el material procedente de Cajicá es mucho más redondeado que los otros

En la ilustración 13 se observan los tres materiales lavados para apreciar sus características físicas.

Ilustración 13 Comparación visual tres materiales



Fuente: Autores

Al ser menos angulosas las partículas esto va a incidir en la resistencia dada la menor adherencia que tendrá en la mezcla.

Según la bibliografía consultada, agregados que presenten mayores absorciones presentan menores densidades, es decir que la absorción es inversamente proporcional a la densidad y esto se debe a que la partícula presenta una mayor porosidad, por lo tanto, tendrá más vacíos en donde penetra el agua. En los tres materiales estudiados, se evidencia que el que presenta mayor absorción y menor densidad tanto en finos como en gruesos es el de Cajicá, que afecta directamente su resistencia a la compresión, lo que también se puede comparar con el mejor agregado, en este caso el de Madrid que presenta datos inversos (menor absorción, mayor densidad) dando una más alta resistencia cuando se somete a compresión.

Cuando un agregado tiene mayor absorción de agua, esto va a generar un desequilibrio en la relación agua cemento, que como se sabe es una de las variables que se tienen en cuenta al realizar una mezcla, mayores cantidades de agua influyen en el comportamiento mecánico de la mezcla

En una mezcla de concreto más presencia de agregados de tamaños entre $\frac{3}{4}$ y 1 pulgada van a proporcionar una mejor resistencia (Steven H.Kosmatka, 2004), lo que nuevamente se evidencia en el agregado de Madrid, donde su tamaño más grande es el de $\frac{3}{4}$ y una presencia considerable de partículas de 1 pulgada, mientras que el de Cajicá, su porcentaje es inferior, tal como lo muestra las granulometrías de los tres materiales.

Al observar la ilustración 10 en donde se compara el comportamiento del esfuerzo obtenido de los tres agregados en el transcurso de los días, podemos notar que del día 7 al día 14 el material del guamo presentaba las mejores características, sin embargo en la falla del día 28, fue inferior al de Madrid, De acuerdo al artículo publicado por la NRMCA (National Ready Mixed Concrete Association) esto posiblemente se deba a una manipulación de los cilindros en etapa prematura, alteración del proceso de curado o insuficiente eliminación de vacíos durante la elaboración de los cilindros (Concrete in practice, 2007).

Como se pudo evidenciar en los resultados obtenidos para la resistencia a la compresión ninguno de los 3 agregados logro alcanzar el objetivo de los 4000 psi de resistencia a compresión por el método empírico de relación de volumen agregado cemento, a pesar de realizarse en un laboratorio bajo condiciones controladas, optimas, donde se garantizaron con la mejor exactitud las cantidades de materiales y donde se contó con un proceso de curado por medio de anegamiento. Esto quiere decir que para una obra en donde la mezcla se realiza in situ va a ser menos probable que se logre esta resistencia dado que no se cuenta

ni con el tiempo suficiente, ni con el control de la dosificación correcta de los materiales.

6. CONCLUSIONES

Al realizar la comparación de los resultados entre los tres agregados de la investigación, ninguno de ellos pudo alcanzar la resistencia propuesta de 4000 psi, el más cercano fue el de Madrid con una resistencia de 3877 psi.

Se realizó la caracterización propuesta de los agregados, inicialmente de manera visual y siguiendo las normas seleccionadas para las propiedades de interés de la investigación, logrando evidenciar que si hay diferencias en cuanto a su textura y forma de la partícula

Las características mencionadas anteriormente en la consulta de literatura y de normatividad como el tamaño del agregado grueso, la absorción, su angulosidad entre otras, influyeron en la resistencia a la compresión, mostrando una significativa diferencia, siendo el de menores prestaciones el agregado de Cajicá.

No es fácil lograr resistencias superiores a los 4000 psi en una obra mezclando los materiales in situ bajo el método empírico, ya que se requiere una inicialmente una dosificación muy precisa, unos agregados que comercialmente se puedan conseguir con buenas características y realizar un proceso de curado óptimo y por lo tanto no se cumpliría con la carga requerida.

7. RECOMENDACIONES

Cuando en una obra se requiera alcanzar resistencias superiores a 4000 psi se sugiere solicitar a una marca reconocida un concreto que cumpla con las especificaciones técnicas exigidas, dado que al realizar una mezcla in situ se presenta grandes incertidumbres en cuanto a las proporciones de los materiales a utilizar, ya que en obra no hay instrumentos precisos para medir volúmenes, a lo máximo se maneja por cantidad de bultos de cemento y de agregado, pero estos últimos no vienen estandarizados dejando sin certeza de su cantidad.

Si por algún motivo no se puede solicitar a las empresas productoras el concreto, y definitivamente se debe realizar la mezcla in situ se recomienda adquirir un agregado que cumpla con las características óptimas que han sido mencionadas en el presente trabajo.

Para futuras investigaciones se puede tener en cuenta realizar paralelamente cilindros y disminuir su tiempo de anegamiento y de esta forma acercarse mas a la realidad de lo que sucede en una construcción convencional, en las cuales se manejan tiempos muy ajustados de curado

8. BIBLIOGRAFÍA

- Amaya, Cesar. 2012.** *Caracterización de materiales de las Canteras California, David Carvajal del Municipio de Girardot y material aluvial del río Coello de este mismo municipio para producción de subbase y base granular.* Bogotá : s.n., 2012.
- American Society of Concrete Contractors. 2005.** *The Contractor's Guide to Quality Concrete Construction.* Farmington : American Concrete Institute, 2005. 0870311670, 9780870311673.
- Arias, Janet Yessica Andia. 2018.** *Evaluación geotécnica del agregado morrénico y su influencia en la resistencia a la compresión.* Lima : Ira, 2018.
- Barrera, Martha Luz Salcedo. 2006.** *Concreto de alto desempeño en Colombia.* Bogotá : Univ. Nacional de Colombia, 2006. 9587018028, 9789587018028.
- Bernal, David. 2017.** *Tamaño de partícula y análisis granulométrico.* Bogotá : s.n., 2017.
- Concrete in practice.* **Association, National Ready Mixed Concrete. 2007.** Silver Spring : s.n., 2007.
- Diseño de mezcla y caracterización físico-mecánica de un concreto de alta resistencia.* **Luis, Giraldo. 2017.** Cali : s.n., 2017.
- Esperanza, Coro Paillacho Mayra. 2014.** *Determinación del módulo de rotura en vigas de hormigón.* Quito : s.n., 2014.
- Estrada, Luisa. 2015.** *Análisis del grado de degradación en diferentes agregados pétreos utilizados como materiales granulares de estructuras de pavimento en Bogotá.* Bogotá : s.n., 2015.
- Ferreira, Daniel. 2014.** *Caracterización física de agregados pétreos para concretos caso: Vista Hermosa (Mosquera) y mina Cemex (Apulo).* 2014.
- Harmsen, Teodoro E. 2005.** *Diseño de Estructuras de Concreto Armado.* Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial, 2005. 9972427307, 9789972427305.
- ICONTEC. 2010.** *Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.* 2010.

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. 1999.** *Norma tecnica Colombiana NTC 385.* Bogotá : ICONTEC, 1999.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. 2013.** *Tecnología del Concreto.* México : M. en A. Soledad Moliné Venanzi, 2013. 968-464-092-7.
- Juarez, Badillo. 2005.** *Fundamentos de la mecanica de suelos.* Ciudad de Mexico : Limusa, 2005.
- Love, T. W. 1973.** *Construction Manual: Concrete & Formwork.* Carlsbad : Craftsman Book Company, 1973. 0910460035, 9780910460033.
- Martinez, David Francisco. 2006.** Dosificacion de mezclas. s.l. : SENA - CTM, 2006.
- Materials, American Society for Testing and. 1999.** *Standard specification for concrete aggregates.* 1999.
- . *Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete.*
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. 2012.** *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE.* Bogotá : Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012.
- Rivera, Gerardo. 2009.** Agregados para mortero o concreto. *Concreto simple.* 2009.
- . **2015.** Tecnologia del concreto y mortero. *Tecnologia del concreto y mortero.* Popayan : Gustavo Gili, 2015.
- Ruge, Juan. 2012.** *Caracterización mineralógica, porosimétrica y estructural de agregados pétreos en canteras del Río Guatiquía, margen izquierda de la ciudad de Villavicencio.* Bogotá : s.n., 2012.
- Sánchez de Guzmán, Diego. 2001.** *TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO.* Bogotá : Pontificia Universidad Javeriana, 2001. 9589247040.
- Steven H.Kosmatka, Beatriz Kerkhoff. 2004.** *Diseño y control de mezclas de concreto.* Illinois : Portland cement Association, 2004.
- Vallejo, Luis. 2002.** *Ingeniería Geológica.* s.l. : Pearson, 2002.
- Zapata, J. Mego. 2016.** academia.edu. [Online] 2016.
https://www.academia.edu/7707615/ABSORCION_Y_PESO_ESPECIFICO_DEL_AGREGADO_GRUESO_I.

9. ANEXOS

Cálculos del contenido de humedad por el método de secado INV 216-13

Wp: humedad evaporable de la muestra (%)

W: masa original de la muestra (g)

D: masa de la muestra secada (g)

$$wp = \frac{w - d}{d} \times 100$$

Cálculos densidad, densidad relativa y absorción del agregado fino

A: Masa al aire de la muestra seca al horno (g)

B: Masa del picnómetro aforado lleno de agua (g)

C: Masa total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua (g)

S: Masa de la muestra saturada superficialmente seca.

Densidad del agua: 997.5 kg/ m³

Densidad en condición seca al horno (SH)

$$SH: \frac{997.5 \times A}{B + S - C}$$

Densidad en condición saturada y superficialmente seca (SSS)

$$SSS: \frac{997.5 \times S}{B + S - C}$$

Densidad aparente

$$: \frac{997.5 \times A}{B + A - C}$$

Absorción

$$\%: \frac{S - A}{A} \times 100$$

Cálculos densidad, densidad relativa y absorción del agregado grueso

A: Masa al aire de la muestra seca al horno (g)

B: Masa al aire de la muestra saturada y superficialmente seca (g)

C: Masa aparente de la muestra saturada en agua (g)

Densidad en condición seca al horno

$$SH: \frac{997.5 \times A}{B - C}$$

Densidad en condición saturada y superficialmente seca (SSS)

$$SSS: \frac{997.5 \times B}{B - C}$$


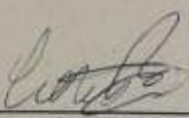


Densidad aparente

$$: \frac{997.5 \times A}{A - C}$$

Absorción

$$\%: \frac{B - A}{A} \times 100$$

Formatos de laboratorios

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIOS		FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)		F.053 L1103 C2						
NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: Evaluación de mezclas de concreto con agregados de caliza, Madrid y el Guamo para obtención de una resistencia superior a 400 psi										
IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:										
CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS		E-MAIL @ucatolica.edu.co		TELÉFONO					
506325	Cristian Henry Silva Castañeda		chsilva25@		305 3454372					
506151	Harvey Alexis Valbuena Rubiano		havalbuena51@		311 8095275					
PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:										
ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ⁽²⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO		
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)				
1	03/09/19	20:00	22:00	20/09/19	18:00	20:00	B	Modelo Finura		
2	06/09/19	18:00	20:00	24/09/19	20:00	22:00	B	Elaboración Pruebas		
3	10/09/19	20:00	22:00	27/09/19	18:00	20:00	B	Refrenado cilindros		
4	13/09/19	18:00	20:00	01/10/19	20:00	22:00	B	Resistencia compresión		
5	17/09/19	20:00	22:00	04/10/19	18:00	20:00	B			
⁽¹⁾ Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo. ⁽²⁾ A) Mecánica de suelos. B) Concreto. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica.										
MATERIALES /EQUIPOS/ INSUMOS A USAR		UNO	CANT	A CARGO:		OBSERVACIONES				
				LAB					USU	
Tampores, moldes		1								
Horno		1								
Balanza		1								
Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a <u>cumplir a cabalidad</u> con el "Reglamento de los laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por parte del personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso eficiente del horario asignado; asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).										
FIRMAS										
 SOLICITANTE 1		 SOLICITANTE 2		SOLICITANTE 3						
SOLICITANTE 4		 SOLICITANTE 5		COORDINADOR DE LABORATORIOS						
Recuerde enviar la imagen del formato totalmente diligenciado a labscivil@ucatolica.edu.co										

NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA
SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO:

Evaluación de mezclas de concreto con agregados de diferentes
origenes para obtención de una resistencia alta

IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:

CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS	E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELÉFONO
506325	Cristian Henry Silva Castañeda	chsilva25 @	3053454372
506151	Harvey Alexis Valbuena Rubiano	havalbuena51 @	3118095275

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:

ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ⁽²⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)		
1	13/08/19	20:00	22:00	24/08/19	13:00	15:00	B	Granulometría
2	16/08/19	18:00	20:00	27/08/19	20:00	22:00	B	Granulometría
3	17/08/19	13:00	15:00	30/08/19	18:00	20:00	B	Granulometría
4	20/08/19	20:00	22:00					
5	23/08/19	18:00	20:00					

⁽¹⁾ Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo.

⁽²⁾ A) Mecánica de suelos. B) Concretos. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica

MATERIALES /EQUIPOS/ INSUMOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:	
			LAB	USU
Balanza	1			
Tamices	1			
Horno	1			

OBSERVACIONES

Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a cumplir a cabalidad con el "Reglamento de los laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por parte del personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso eficiente del horario asignado: asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).

FIRMAS

SOLICITANTE 1

SOLICITANTE 2

SOLICITANTE 3

SOLICITANTE 4

SOLICITANTE 5

DOCENTE / TUTOR ENCARGADO

COORDINADOR DE LABORATORIOS

Recuerde enviar la imagen del formato totalmente diligenciado a labscivil@ucatolica.edu.co

Cristian Silva Castañeda
COD 506325

Harvey Alexis Valbuena Rubiano
COD 506151

ING. Francisco Javier Novegil